

10/525372  
PCT/JP 03/10665

2003.10.22  
22.10.03

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

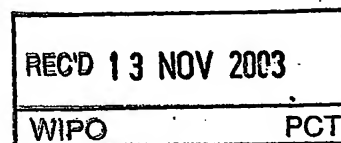
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年 8月23日  
Date of Application:

出願番号 特願2002-242925  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2002-242925]

出願人 株式会社ニコン  
Applicant(s):

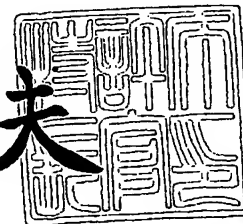


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月18日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出願番号 出願特 2003-3067210

【書類名】 特許願

【整理番号】 02-00924

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 大村 泰弘

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 池沢 弘範

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社ニコン

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9302511

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影光学系、露光装置および露光方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、  
前記投影光学系は、最も第2面側に配置されて第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズを有し、

前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1より大きい屈折率を有する媒質で満たされていることを特徴とする投影光学系。

【請求項2】 前記境界レンズの第1面側の面の曲率を $C_b$ とし、光軸と有効結像領域の最外点との距離を $D$ とし、第2面側の開口数を $NA$ とするとき、

$$0.012 < C_b \cdot D / NA < 0.475$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

【請求項3】 前記境界レンズと前記第2面との間の光路中には、少なくとも1つのほぼ無屈折力の光学部材が挿脱自在に配置され、

前記境界レンズと前記光学部材との間の光路および前記光学部材と前記第2面との間の光路は前記媒質で満たされていることを特徴とする請求項1または2に記載の投影光学系。

【請求項4】 前記ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢は調整可能であることを特徴とする請求項3に記載の投影光学系。

【請求項5】 前記ほぼ無屈折力の光学部材の屈折力を $P$ とし、光軸と有効結像領域の最外点との距離を $D$ とするとき、

$$|P \cdot D| < 1.0 \times 10^{-4}$$

の条件を満足することを特徴とする請求項3または4に記載の投影光学系。

【請求項6】 前記投影光学系は、少なくとも1つの凹面反射鏡と屈折光学部材とから構成される反射屈折光学系であることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の投影光学系。

【請求項7】 光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、  
前記投影光学系の光路中に少なくとも1つの中間像を形成することを特徴とす

る請求項 6 に記載の投影光学系。

【請求項 8】 前記第 1 面の第 1 中間像を形成するための第 1 結像光学系と、少なくとも 1 つの凹面反射鏡を有し前記第 1 中間像からの光束に基づいて第 2 中間像を形成するための第 2 結像光学系と、前記第 2 中間像からの光束に基づいて最終像を前記第 2 面上に形成するための第 3 結像光学系とを備え、

前記第 1 結像光学系と前記第 2 結像光学系との間の光路中に第 1 偏向鏡が配置され、前記第 2 結像光学系と前記第 3 結像光学系との間の光路中に第 2 偏向鏡が配置され、前記第 1 結像光学系の光軸と前記第 3 結像光学系の光軸とが一致していることを特徴とする請求項 7 に記載の投影光学系。

【請求項 9】 第 1 面側の開口数は 0.22 以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 10】 前記媒質を通過する際に発生する光量損失が 50% 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 11】 前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 12】 前記第 1 面に設定されたマスクを照明し、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、投影光学系、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に適した高解像の投影光学系に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスク（またはレチクル）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウェハ（またはガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。

#### 【0003】

その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長 $\lambda$ を短くするとともに投影光学系の像側開口数 $NA$ を大きくする必要がある。具体的には、投影光学系の解像度は、 $k \cdot \lambda / NA$ （ $k$ はプロセス係数）で表される。また、像側開口数 $NA$ は、投影光学系と像面との間の媒質（通常は空気などの気体）の屈折率を $n$ とし、像面への最大入射角を $\theta$ とすると、 $n \cdot \sin \theta$ で表される。

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、最大入射角 $\theta$ を大きくすることにより開口数 $NA$ の増大を図うとすると、像面への入射角および投影光学系からの射出角が大きくなり、光学面での反射損失が増大して、大きな実効的な像側開口数を確保することはできない。また、投影光学系と像面との間の光路中に屈折率の高い液体のような媒質を満たすことにより開口数 $NA$ の増大を図る技術が知られているが、大きな実効的な像側開口数を確保することのできる構成について具体的な提案が未だなされていない。

#### 【0005】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させ、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きな実効的な像側開口数を確保することのできる投影光学系を提供することを目的とする。また、大きな実効的な像側開口数を有し、ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

#### 【0006】

**【課題を解決するための手段】**

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系は、最も第2面側に配置されて第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズを有し、

前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1より大きい屈折率を有する媒質で満たされていることを特徴とする投影光学系を提供する。

**【0007】**

第1形態の好ましい態様によれば、前記境界レンズの第1面側の面の曲率を $C_b$ とし、光軸と有効結像領域の最外点との距離を $D$ とし、第2面側の開口数を $NA$ とするとき、 $0.012 < C_b \cdot D / NA < 0.475$ の条件を満足する。また、前記境界レンズと前記第2面との間の光路中には、少なくとも1つのほぼ無屈折力の光学部材が挿脱自在に配置され、前記境界レンズと前記光学部材との間の光路および前記光学部材と前記第2面との間の光路は前記媒質で満たされていることが好ましい。この場合、前記ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢は調整可能であることが好ましい。また、前記ほぼ無屈折力の光学部材の屈折率を $P$ とし、光軸と有効結像領域の最外点との距離を $D$ とするとき、 $|P \cdot D| < 1.0 \times 10^{-4}$ の条件を満足することが好ましい。

**【0008】**

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記投影光学系は、少なくとも1つの凹面反射鏡と屈折光学部材とから構成される反射屈折光学系である。この場合、光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、前記投影光学系の光路中に少なくとも1つの中間像を形成することが好ましい。また、前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を有し前記第1中間像からの光束に基づいて第2中間像を形成するための第2結像光学系と、前記第2中間像からの光束に基づいて最終像を前記第2面上に形成するための第3結像光学系とを備え、前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中に第1偏向鏡が配置され、前記第2結像光学系と前記第3結像光学系との間の光

路中に第2偏向鏡が配置され、前記第1結像光学系の光軸と前記第3結像光学系の光軸とが一致していることが好ましい。

#### 【0009】

さらに、第1形態の好ましい態様によれば、第1面側の開口数は0.22以上である。また、前記媒質を通過する際に発生する光量損失が50%以下であることが好ましい。

#### 【0010】

本発明の第2形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための第1形態の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

#### 【0011】

本発明の第3形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明し、第1形態の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

#### 【0012】

また、本発明の別の局面によれば、マスクに形成されたパターンを感光性基板に転写するための露光装置であって、前記マスク上の所定の照明領域内を照明するための照明光学系と、前記パターンの縮小像を感光性基板上の露光領域内に投影するための投影光学系とを備え、前記投影光学系は、最も感光性基板側に配置された境界レンズと、少なくとも1つの凹面反射鏡とを備える反射屈折光学系であり、前記露光領域は前記反射屈折型投影光学系の光軸から偏心しており、前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされていることを特徴とする。

#### 【0013】

##### 【発明の実施の形態】

本発明の投影光学系では、最も像側（第2面側）に配置された境界レンズと像面との間の光路中に1.1よりも大きい屈折率を有する媒質を介在させることに

より、像側開口数NAの増大を図っている。ちなみに、M.Switkes氏およびM.Rothschild氏が「SPIE2002 Microlithography」において「Massachusetts Institute of Technology」に発表した「Resolution Enhancement of 157-nm Lithography by Liquid Immersion」には、波長 $\lambda$ が200nm以下の光に対して所要の透過率を有する媒質として、フロリナート（Perfluoropolyethers：米国スリーエム社の商品名）や脱イオン水（Deionized Water）などが候補として挙げられている。

#### 【0014】

また、本発明の投影光学系では、境界レンズの物体側（第1面側）の面に正の屈折力を付与することにより、光学面での反射損失を低減させ、ひいては大きな実効的な像側開口数を確保している。こうして、本発明では、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させ、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きな実効的な像側開口数を確保することのできる投影光学系を実現することができる。

#### 【0015】

本発明においては、次の条件式（1）を満足することが望ましい。ここで、 $C_b$ は境界レンズの物体側の面の曲率であり、 $D$ は光軸と有効結像領域の最外点との距離（露光装置の場合には光軸と有効（実効）露光領域の最外点との距離）であり、 $NA$ は像側（第2面側）の開口数である。なお、有効結像領域および実効露光領域とは、収差が十分に補正された結像領域および露光領域を指している。

$$0.012 < C_b \cdot D / NA < 0.475 \quad (1)$$

#### 【0016】

条件式（1）の上限値を上回ると、有効結像領域（実効露光領域）内の全体に亘って収差補正を良好に行うことができないので好ましくない。条件式（1）の下限値を下回ると、光学面での反射損失の低減を十分に実現することができないため、実効的な開口数が小さくなり、ひいては解像力が低下するので好ましくない。なお、反射損失および吸収損失の低減をさらに図り、有効結像領域（実効露光領域）内の全体に亘って高解像力を得るには、条件式（1）の上限値を0.40とし、その下限値を0.015と設定することが好ましい。

#### 【0017】



ところで、上述したように、境界レンズと像面との間に介在させる高屈折率の媒質として、所要の透過率を確保する（光量損失を抑える）ことができるように、フロリナートのようなフッ素系不活性液体や脱イオン水のような液体を用いることになる。露光装置の場合、液体がウェハのような基板に塗布されたフォトレジスト等による汚染を受け、汚染された液体により境界レンズの像側の光学面も汚染され、境界レンズおよび液体の透過率が低下する恐れがある。

#### 【0018】

そこで、本発明では、境界レンズと像面との間の光路中に、たとえば平行平板のような光学部材（一般的には、ほぼ無屈折力の光学部材）を挿脱自在に配置することが好ましい。なお、投影光学系の製造工程においては、屈折力が僅かに異なる複数の光学部材を用意し、境界レンズと像面との間に介在させる光学部材を選択的に交換することにより、ベッツバール和を調整し、像面湾曲を補正することができる。

#### 【0019】

さらに、ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢を調整することができるよう構成することが好ましい。この場合、光学部材を光軸に対して傾ける（チルトさせる）ことにより、レンズの偏芯等によって生じる非対称収差を補正することができる。また、本発明において、ほぼ無屈折力の光学部材は、次の条件式（2）を満足することが望ましい。

$$|P \cdot D| < 1.0 \times 10^{-4} \quad (2)$$

#### 【0020】

ここで、Pは、ほぼ無屈折力の光学部材の屈折力（ $=1/\text{焦点距離}$ ）である。また、Dは、上述したように、光軸と有効結像領域の最外点との距離（露光装置の場合には光軸と有効（実効）露光領域の最外点との距離）である。条件式（2）の上限値を上回ると、光学部材を傾けて非対称収差を補正する際に、他の収差も大きく変動してしまうので好ましくない。

#### 【0021】

また、本発明では、少なくとも1つの凹面反射鏡と屈折光学部材（レンズ成分）とを有する反射屈折光学系として投影光学系を構成することが望ましい。この

構成により、大きな有効結像領域（実効露光領域）と大きな像側開口数 $NA$ とを有する投影光学系を達成することができる。一般に、屈折光学部材のみで構成される屈折型の投影光学系の場合、像面湾曲を補正するために、開口数の小さい物体側（物体面の近傍）に正レンズ群と負レンズ群とを交互に配置して、ペッツバル和を 0 に近づける必要がある。

#### 【0022】

しかしながら、本発明のように像側開口数の大きな光学系では、物体側の開口数も大きいため、ペッツバル和を 0 に補正しつつ有効結像領域（実効露光領域）の全体に亘って球面収差やコマ収差を良好に補正することが困難となる。この場合、縮小倍率を 1:4 から 1:5 や 1:6 へさらに高倍率での縮小へ変更すれば、物体側の開口数が小さくなってペッツバル和の補正には有利となるが、露光装置において広い実効露光領域を確保しようとする、マスクが大きくなりすぎるという不都合がある。

#### 【0023】

これに対し、少なくとも 1 つの凹面反射鏡と屈折光学部材とを有する反射屈折型の投影光学系では、凹面反射鏡が正の屈折力を持ちつつペッツバル和への寄与は負レンズと同様であるため、凹面反射鏡と正レンズとの組み合わせによりペッツバル和の補正が容易に可能である。その結果、反射屈折光学系の構成と、像面との間の光路中に高屈折率の液体（媒質）を介在させる液浸光学系の構成とを組み合わせることにより、大きい像側開口数および広い有効結像領域（実効露光領域）を有する投影光学系を達成することができる。

#### 【0024】

反射屈折光学系においては、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光とを如何に分離するかが課題になる。また、像側開口数の大きい投影光学系では、光学素子の有効径が大きくなる（光学素子が大型化する）のを避けることはできない。したがって、透過反射面を有するプリズム型ビームスプリッタを利用する反射屈折光学系では、大型化したプリズム型ビームスプリッタの製造が困難になるという不都合がある。本発明では、光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、光路中に少なくとも 1 つの中間像を形成するように投影光学系

を構成することが好ましい。この構成により、中間像の形成位置の付近に光路分離用の平面反射鏡を配置して、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光とを容易に分離することができる。

#### 【0025】

さらに、本発明では、物体面（第1面）の第1中間像を形成する第1結像光学系と、少なくとも1つの凹面反射鏡を有し第1中間像からの光束に基づいて第2中間像を形成する第2結像光学系と、第2中間像からの光束に基づいて最終像を像面（第2面）上に形成する第3結像光学系とを備え、第1結像光学系と第2結像光学系との間の光路中に第1偏向鏡が配置され、第2結像光学系と第3結像光学系との間の光路中に第2偏向鏡が配置され、第1結像光学系の光軸と第3結像光学系の光軸とが一致していることが好ましい。この構成により、像側開口数の大きな光学系においても、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光との光路分離が容易になり、第1結像光学系と第3結像光学系とが共軸になるので光学系の組立てや調整が比較的容易になる。

#### 【0026】

また、前述したように、1:5や1:6の高倍率で縮小する投影光学系は、露光装置に適用した場合にマスクの大型化を招くので好ましくない。したがって、本発明では、適切な縮小倍率において高い解像力を得るために、物体側の開口数が0.22以上であることが好ましい。さらに、本発明では、境界レンズと像面との間に介在する媒質を通過する際に発生する光量損失が50%以下であることが好ましい。この構成を満足しない場合には、媒質に吸収された光が熱となり、媒質中の屈折率揺らぎに起因して結像性能が劣化し易い。

#### 【0027】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1において、投影光学系PLの基準光軸AXに平行にZ軸を、基準光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、図1の紙面に垂直にX軸をそれぞれ設定している。

#### 【0028】

図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、たとえばArFエキシマレーザ光源（発振中心波長193.306nm：第1実施例および第3実施例）またはF<sub>2</sub>レーザ光源（発振中心波長157.631nm：第2実施例）を備えている。光源100から射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクルRを重畳的に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源100から照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

#### 【0029】

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

#### 【0030】

レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハホルダテーブルWTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

#### 【0031】

図2は、本実施形態の第1実施例および第2実施例においてウェハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。本実施形態の第1実施例および第2実施例では、図2に示すように、基準光軸AXを中心とした半径Bを有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、基準光軸AXから-Y方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。

#### 【0032】

換言すると、第1実施例および第2実施例では、基準光軸AXから-Y方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定され、基準光軸AXを中心として実効露光領域ERを包括するように円形状のイメージサークルIFの半径Bが規定されている。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルR上では、基準光軸AXから-Y方向に軸外し量Aに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されていることになる。

#### 【0033】

図3は、本実施形態の第3実施例においてウェハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。本実施形態の第3実施例では、図3に示すように、基準光軸AXを中心とした半径Bを有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、基準光軸AXを中心としてX方向に沿って細長く延びた矩形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルR上では、基準光軸AXを中心として実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されていることになる。

#### 【0034】

また、本実施形態の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL11）と最もウェ

ハ側に配置された境界レンズLbとの間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

#### 【0035】

図4は、各実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。図4を参照すると、各実施例において、投影光学系PLの最もウェハ側に配置された境界レンズLbは、レチクル側（第1面側）に向かって凸面を有する。換言すれば、境界レンズLbのレチクル側の面Sbは、正の屈折力を有する。そして、境界レンズLbとウェハWとの間の光路中には、平行平板Lpが挿脱自在に配置されている。さらに、境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路および平行平板LpとウェハWとの間の光路は、1.1よりも大きい屈折率を有する媒質Lmで満たされている。媒質Lmとして、第1実施例および第3実施例では脱イオン水を、第2実施例ではフロリナートのようなフッ素系不活性液体を用いている。

#### 【0036】

なお、投影光学系PLに対してウェハWを相対移動させつつ走査露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の露光装置において、走査露光の開始から終了まで投影光学系PLの境界レンズLbとウェハWとの間の光路中に液体媒質Lmを満たし続けるには、たとえば国際公開番号WO99/49504号公報に開示された技術や、特開平10-303114号公報に開示された技術などを用いることができる。

#### 【0037】

国際公開番号WO99/49504号公報に開示された技術では、液体供給装置から供給管および排出ノズルを介して所定の温度に調整された液体（媒質Lm）を境界レンズLbとウェハWとの間の光路を満たすように供給し、液体供給装

置により回収管および流入ノズルを介してウェハW上から液体を回収する。液体の供給量および回収量は、投影光学系PLに対するウェハWの相対移動速度に応じて調整されることになる。

#### 【0038】

一方、特開平10-303114号公報に開示された技術では、液体（媒質L<sub>m</sub>）を収容することができるようウェハホルダテーブルWTを容器状に構成し、その内底部の中央において（液体中において）ウェハWを真空吸着により位置決め保持する。また、投影光学系PLの鏡筒先端部が液体中に達し、ひいては境界レンズL<sub>b</sub>のウェハ側の光学面が液体中に達するように構成する。

#### 【0039】

このように、光源100からウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域ER）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

#### 【0040】

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）をzとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数をκとし、n次の非球面係数をC<sub>n</sub>としたとき、以下の数式（a）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に\*印を付している。

#### 【0041】

##### 【数1】

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}]$$

$$+C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} \\ + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \quad (a)$$

【0042】

## [第1実施例]

図5は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第1実施例において、投影光学系PLは、物体面（第1面）に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1と、凹面反射鏡CMを含み第2中間像（第1中間像の像であってレチクルパターンの2次像）を形成するための第2結像光学系G2と、第2中間像からの光に基づいて像面（第2面）に配置されたウェハW上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第3結像光学系G3とを備えている。

【0043】

第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中において第1中間像の形成位置の近傍には、第1結像光学系G1からの光を第2結像光学系G2に向かって偏向するための第1光路折り曲げ鏡M1が配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中において第2中間像の形成位置の近傍には、第2結像光学系G2からの光を第3結像光学系G3に向かって偏向するための第2光路折り曲げ鏡M2が配置されている。

【0044】

また、第1結像光学系G1は直線状に延びた光軸AX1を有し、第3結像光学系G3は直線状に延びた光軸AX3を有し、光軸AX1と光軸AX3とは共通の単一光軸である基準光軸AXと一致するように設定されている。なお、基準光軸AXは、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクルRおよびウェハWは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第1結像光学系G1を構成するすべてのレンズおよび第3結像光学系G3を構成するすべてのレンズも、基準光軸AX上において水平面に沿って配置されている。

【0045】



一方、第2結像光学系G2も直線状に延びた光軸AX2を有し、この光軸AX2は基準光軸AXと直交するように設定されている。さらに、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2はともに平面状の反射面を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡）として一体的に構成されている。この2つの反射面の交線（厳密にはその仮想延長面の交線）が第1結像光学系G1のAX1、第2結像光学系G2のAX2、および第3結像光学系G3のAX3と一点で交わるように設定されている。

#### 【0046】

第1実施例では、光源100として、ArFエキシマレーザー光源を用いている。また、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）および平行平板Lpには石英（SiO<sub>2</sub>）を用いている。露光光であるArFエキシマレーザー光の発振中心波長は193.306nmであり、この中心波長に対する石英の屈折率は1.5603261である。さらに、境界レンズLbとウェハWとの間に介在する媒質Lmとして、露光光に対して1.47の屈折率を有する脱イオン水を用いている。

#### 【0047】

第1実施例にかかる投影光学系PLにおいて、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL12と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL13と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL14と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL110とから構成されている。

#### 【0048】

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL22と、凹面反射鏡C

Mとから構成されている。

【0049】

さらに、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL31と、両凸レンズL32と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL33と、両凹レンズL34と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL35と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL36と、開口絞りASと、両凸レンズL37と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL38と、両凸レンズL39と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL310と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL311と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL312と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL313（境界レンズLb）とから構成されている。

【0050】

そして、境界レンズLbとしての平凸レンズL313とウェハWとの間の光路中には、平行平板Lpが配置されている。また、境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路および平行平板LpとウェハWとの間の光路には、脱イオン水からなる媒質Lmが満たされている。

【0051】

次の表(1)に、第1実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表(1)において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウェハ側）開口数を、BはウェハW上でのイメージサークルIFの半径を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

【0052】

また、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、EDは各面の有効直径（mm）を、nは中心波長に

対する屈折率をそれぞれ示している。

### 【0053】

なお、面間隔  $d$  は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔  $d$  の符号は、第1光路折り曲げ鏡  $M1$  の反射面から凹面反射鏡  $CM$  までの光路中および第2光路折り曲げ鏡  $M2$  の反射面から像面までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、第1結像光学系  $G1$  では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。一方、第3結像光学系  $G3$  では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。さらに、第2結像光学系  $G2$  では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径を正とし、凸面の曲率半径を負としている。なお、表（1）における表記は、以降の表（2）においても同様である。

### 【0054】

#### 【表1】

（主要諸元）

$$\lambda = 193.306 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 1.0$$

$$B = 15 \text{ mm}$$

$$A = 3 \text{ mm}$$

$$LX = 26 \text{ mm}$$

$$LY = 4.4 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	$r$	$d$	$n$	
	(レチクル面)	108.2689		
1	244.17278	32.6883	1.5603261	(L 1 1)
2	12431.08550	40.5868		
3	218.00254	43.8864	1.5603261	(L 1 2)

4*	-901.16882	1.0000		
5	95.35438	40.6221	1.5603261	(L 1 3)
6	255.04609	43.5025		
7	-357.02117	25.9377	1.5603261	(L 1 4)
8	-305.85533	29.8146		
9	-123.85265	28.7005	1.5603261	(L 1 5)
10	-2549.65778	4.1780		
11	-591.66174	23.2188	1.5603261	(L 1 6)
12	-399.04534	8.7209		
13*	-231.39310	20.2346	1.5603261	(L 1 7)
14	-148.33833	17.4652		
15	-354.63058	50.0000	1.5603261	(L 1 8)
16	-136.53902	1.0000		
17	5811.09639	34.5332	1.5603261	(L 1 9)
18	-219.00801	1.0000		
19	208.57104	29.3963	1.5603261	(L 1 1 0)
20*	18419.59845	90.9569		
21	$\infty$	-244.3047		(M 1)
22*	131.03687	-18.0014	1.5603261	(L 2 1)
23	305.47877	-26.1693		
24	100.48802	-16.0009	1.5603261	(L 2 2)
25	385.87639	-26.7822		
26	149.24479	26.7822		(CM)
27	385.87639	16.0009	1.5603261	(L 2 2)
28	100.48802	26.1693		
29	305.00000	18.0014	1.5603261	(L 2 1)
30*	131.03687	244.3047		
31	$\infty$	-64.0489		(M 2)
32	529.91109	-39.4419	1.5603261	(L 3 1)

33	219.30879	-26.0915		
34	-1009.84284	-33.6721	1.5603261	(L 3 2)
35	345.39448	-1.0000		
36	-176.43124	-49.9914	1.5603261	(L 3 3)
37*	-663.25312	-119.1058		
38	205.20912	-14.0042	1.5603261	(L 3 4)
39	-198.56100	-115.1819		
40*	1437.46317	-49.9958	1.5603261	(L 3 5)
41	188.22741	-15.3421		
42	-212.79097	-49.9776	1.5603261	(L 3 6)
43*	-1223.58584	-25.5930		
44	$\infty$	-1.0003		(A S)
45	-15481.75066	-23.7099	1.5603261	(L 3 7)
46	362.44209	-12.9484		
47	209.8877	-14.0041	1.5603261	(L 3 8)
48	345.03468	-1.0007		
49	-11942.14877	-29.1119	1.5603261	(L 3 9)
50	278.1043	-1.0000		
51	-157.59127	-26.2942	1.5603261	(L 3 1 0)
52	-333.08397	-1.0000		
53	-127.00506	-33.4380	1.5603261	(L 3 1 1)
54*	-354.79236	-1.0073		
55	-119.95893	-27.9094	1.5603261	(L 3 1 2)
56	-139.80778	-1.0000		
57	-91.35661	-34.5243	1.5603261	(L 3 1 3 : L b)
58	$\infty$	-1.0000	1.47	(L m)
59	$\infty$	-4.0000	1.5603261	(L p)
60	$\infty$	-5.0000	1.47	(L m)

(ウエハ面)

(非球面データ)

4 面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.88992 \times 10^{-8} & C_6 &= -7.82619 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 5.12223 \times 10^{-17} & C_{10} &= -2.73274 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 6.02784 \times 10^{-26} & C_{14} &= 0 \end{aligned}$$

13 面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= -6.25952 \times 10^{-8} & C_6 &= 5.48030 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -3.31838 \times 10^{-16} & C_{10} &= 1.38375 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -1.04055 \times 10^{-24} & C_{14} &= 3.26369 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

20 面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.72798 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.61452 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -4.93244 \times 10^{-19} & C_{10} &= 1.04591 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= -1.24577 \times 10^{-26} & C_{14} &= 6.24349 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

22 面および 30 面 (同一面)

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= -8.82578 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.18452 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -8.66533 \times 10^{-17} & C_{10} &= -3.62594 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -5.01578 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.58145 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

37 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -7.06709 \times 10^{-9} \quad C_6 = 2.17699 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 4.99998 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 9.16340 \times 10^{-23}$$
$$C_{12} = 4.71865 \times 10^{-28} \quad C_{14} = -1.92011 \times 10^{-31}$$

40面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 5.99640 \times 10^{-8} \quad C_6 = -2.38721 \times 10^{-13}$$
$$C_8 = -2.67049 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 8.91192 \times 10^{-22}$$
$$C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.17799 \times 10^{-8} \quad C_6 = -5.24366 \times 10^{-13}$$
$$C_8 = -2.67126 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.52192 \times 10^{-21}$$
$$C_{12} = -2.95585 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0$$

54面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -5.15363 \times 10^{-9} \quad C_6 = -2.43381 \times 10^{-12}$$
$$C_8 = 6.03374 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.56676 \times 10^{-21}$$
$$C_{12} = -6.31540 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.49243 \times 10^{-29}$$

(条件式対応値)

$$C_b = 0.01095 \text{ mm}^{-1}$$

$$D = B = 15 \text{ mm}$$

$$NA = 1.0$$

$$P = 0 \text{ mm}^{-1}$$

$$(1) C_b \cdot D / NA = 0.164$$

$$(2) |P \cdot D| = 0$$

【0055】

図6は、第1実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を示している。なお、図6における表記は、以降の図8および図10においても同様である。図6の収差図から明らかなように、第1実施例では、ArFエキシマレーザ光を用いて非常に大きな像側開口数( $NA=1.0$ )を確保しているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。

#### 【0056】

##### [第2実施例]

図7は、本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第2実施例の投影光学系PLは、第1実施例と基本的に同じ構成を有する反射屈折型の光学系である。しかしながら、第2実施例では、第1実施例とは異なり、光源100としてF<sub>2</sub>レーザ光源を用いている。また、投影光学系PLを構成するすべての屈折光学部材(レンズ成分)および平行平板L<sub>p</sub>には蛍石(CaF<sub>2</sub>)を用いている。露光光であるF<sub>2</sub>レーザ光の発振中心波長は157.631nmであり、この中心波長に対する蛍石の屈折率は1.5592267である。さらに、境界レンズL<sub>b</sub>とウェハWとの間に介在する媒質L<sub>m</sub>として、露光光に対して1.36の屈折率を有するフッ素系不活性液体を用いている。

#### 【0057】

第2実施例にかかる投影光学系PLにおいて、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL12と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL13と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL14と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL16と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL18と、両凸レンズL19と、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL110とから構成されている。

#### 【0058】

また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側(すなわち入



射側) から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 21と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 22と、凹面反射鏡C Mとから構成されている。

#### 【0059】

さらに、第3結像光学系G 3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 31と、両凸レンズL 32と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 33と、両凹レンズL 34と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 35と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 36と、開口絞りASと、両凸レンズL 37と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 38と、両凸レンズL 39と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 310と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 311と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 312と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL 313 (境界レンズL b) とから構成されている。

#### 【0060】

そして、境界レンズL bとしての平凸レンズL 313とウェハWとの間の光路中には、平行平板L pが配置されている。また、境界レンズL bと平行平板L pとの間の光路および平行平板L pとウェハWとの間の光路には、フッ素系不活性液体からなる媒質L mが満たされている。なお、第2実施例では、フッ素系不活性液体からなる媒質L mを通過する際に発生する光量損失が比較的大きいため、平行平板L pとウェハWとの距離すなわちワーキングディスタンスWDを第1実施例よりもかなり小さく設定している。次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系P Lの諸元の値を掲げる。

#### 【0061】

##### 【表2】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.631 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$\text{NA} = 1.0$$

B = 15 mm

A = 3 mm

LX = 26 mm

LY = 4.4 mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	101.9130		
1	225.91181	34.4965	1.5592267	(L 1 1)
2	1436.06203	33.7438		
3	201.91225	49.2729	1.5592267	(L 1 2)
4*	-841.64457	1.0000		
5	96.67870	38.2983	1.5592267	(L 1 3)
6	257.84523	43.1608		
7	-380.28084	27.5460	1.5592267	(L 1 4)
8	-312.16425	30.1639		
9	-124.06734	28.9267	1.5592267	(L 1 5)
10	-557.96151	3.8304		
11	-366.97659	22.7734	1.5592267	(L 1 6)
12	-456.35163	12.9347		
13*	-254.00244	19.0622	1.5592267	(L 1 7)
14	-156.71970	14.5386		
15	-336.79481	46.8839	1.5592267	(L 1 8)
16	-133.29810	2.8796		
17	2442.55879	49.6870	1.5592267	(L 1 9)
18	-237.47884	1.1950		
19	210.34651	30.7754	1.5592267	(L 1 1 0)
20*	-18494.54411	86.6055		
21	$\infty$	-256.5916		(M 1)

22*	137.75129	-18.0000	1.5592267	(L 2 1)
23	355.77715	-27.9942		
24	100.61796	-16.0000	1.5592267	(L 2 2)
25	376.58992	-26.1250		
26	150.70332	26.1250		(CM)
27	376.58992	16.0000	1.5592267	(L 2 2)
28	100.61796	27.9942		
29	355.77715	18.0000	1.5592267	(L 2 1)
30*	137.75129	256.5916		
31	$\infty$	-64.0489		(M 2)
32	529.48170	-37.2168	1.5592267	(L 3 1)
33	217.84933	-45.5764		
34	-906.17992	-39.8472	1.5592267	(L 3 2)
35	390.17706	-1.0000		
36	-175.86600	-49.6987	1.5592267	(L 3 3)
37*	-666.25803	-123.6310		
38	193.90829	-14.4510	1.5592267	(L 3 4)
39	-194.01757	-115.5693		
40*	1756.45056	-49.9992	1.5592267	(L 3 5)
41	192.14442	-16.6644		
42	-212.68601	-46.8499	1.5592267	(L 3 6)
43*	-1313.55988	-26.5088		
44	$\infty$	-1.0000		(AS)
45	-46713.12140	-22.7123	1.5592267	(L 3 7)
46	380.61069	-13.0721		
47	213.48092	-14.0147	1.5592267	(L 3 8)
48	358.25443	-1.0000		
49	-3283.23016	-29.4719	1.5592267	(L 3 9)
50	287.34852	-1.0000		

51	-177.16315	-23.5067	1.5592267	(L 3 1 0)
52	-351.98397	-1.0000		
53	-121.82696	-35.6149	1.5592267	(L 3 1 1)
54*	-392.84550	-1.0000		
55	-117.93800	-28.2524	1.5592267	(L 3 1 2)
56	-138.49028	-1.0000		
57	-91.96471	-39.6900	1.5592267	(L 3 1 3 : L b)
58	$\infty$	-1.0000	1.36	(L m)
59	$\infty$	-4.0000	1.5592267	(L p)
60	$\infty$	-1.0000	1.36	(L m)

(ウェハ面)

(非球面データ)

4 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 4.49431 \times 10^{-8} \quad C_6 = -7.39398 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 6.16730 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -3.94177 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 8.18197 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 0$$

13 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -4.99618 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.42305 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.81530 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 1.39566 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -5.93253 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.35088 \times 10^{-29}$$

20 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 1.68383 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.06688 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -2.92682 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 2.12089 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -1.38926 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 5.21818 \times 10^{-31}$$

22面および30面(同一面)

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -8.30158 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.66607 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -6.51740 \times 10^{-17} & C_{10} &= -4.60984 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -7.40500 \times 10^{-26} & C_{14} &= -9.34635 \times 10^{-30} \end{aligned}$$

37面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -5.68895 \times 10^{-9} & C_6 &= 2.19286 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 5.12916 \times 10^{-18} & C_{10} &= 6.51778 \times 10^{-23} \\ C_{12} &= -5.40821 \times 10^{-29} & C_{14} &= -2.41357 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

40面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.94153 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.72431 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -3.72411 \times 10^{-18} & C_{10} &= 8.85563 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= 0 & C_{14} &= 0 \end{aligned}$$

43面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.10623 \times 10^{-8} & C_6 &= -5.34092 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -2.58209 \times 10^{-17} & C_{10} &= 1.51679 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -3.00290 \times 10^{-26} & C_{14} &= 0 \end{aligned}$$

54面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -5.82309 \times 10^{-9} \quad C_6 = -2.25140 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 6.80911 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.12945 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -7.25627 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 2.57401 \times 10^{-29}$$

(条件式対応値)

$$C_b = 0.01087 \text{ mm}^{-1}$$

$$D = B = 15 \text{ mm}$$

$$NA = 1.0$$

$$P = 0 \text{ mm}^{-1}$$

$$(1) C_b \cdot D / NA = 0.163$$

$$(2) |\uparrow P \cdot D| = 0$$

### 【0062】

図8は、第2実施例における横収差を示す図である。図8の収差図から明らかのように、第2実施例では、F<sub>2</sub>レーザ光を用いて非常に大きな像側開口数 (NA=1.0) を確保しているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。

### 【0063】

#### [第3実施例]

図9は、本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第3実施例の投影光学系PLは、第1実施例および第2実施例とは異なり屈折型の光学系である。しかしながら、第3実施例では、第1実施例と同様に、光源100としてArFエキシマレーザ光源を用い、境界レンズL<sub>b</sub>とウェハWとの間に介在する媒質L<sub>m</sub>として露光光に対して1.47の屈折率を有する脱イオン水を用いている。

### 【0064】

また、第3実施例では、投影光学系PLを構成する屈折光学部材(レンズ成分)および平行平板L<sub>p</sub>に石英(SiO<sub>2</sub>)または蛍石(CaF<sub>2</sub>)を用いている。具体的には、レンズL<sub>13</sub>、L<sub>17</sub>、L<sub>18</sub>、L<sub>114</sub>、L<sub>115</sub>、L<sub>122</sub>およびL<sub>123</sub>(L<sub>b</sub>)は蛍石により形成され、その他のレンズ成分および平行平板L<sub>p</sub>は石英により形成されている。露光光であるArFエキシマレーザ光

の発振中心波長は193.306 nmであり、この中心波長に対する石英の屈折率は1.5603261であり、蛍石の屈折率は1.5014548である。

#### 【0065】

第3実施例にかかる投影光学系PLは、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL13と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL14と、両凸レンズL15と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL17と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL18と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL19と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL110と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL111と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL112と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL113と、両凸レンズL114と、両凸レンズL115と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL116と、開口絞りASと、両凹レンズL117と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL118と、両凸レンズL119と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL120と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL121と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL122と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL123（境界レンズLb）とから構成されている。

#### 【0066】

そして、境界レンズLbとしての負メニスカスレンズL123とウェハWとの間の光路中には、平行平板Lpが配置されている。また、境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路および平行平板LpとウェハWとの間の光路には、脱イオン水からなる媒質Lmが満たされている。

#### 【0067】

次の表(3)に、第3実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表(3)において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率（全系の結像倍率）を、NAは像側（ウェハ側）開口数を、BはウェハW上でのイメージサークルIF

の半径を、 $LX$ は実効露光領域 $ER$ の $X$ 方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、 $LY$ は実効露光領域 $ER$ の $Y$ 方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

## 【0068】

また、面番号は物体面（第1面）であるレチクル面から像面（第2面）であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 $r$ は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 $d$ は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 $ED$ は各面の有効直径（mm）を、 $n$ は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。そして、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。

## 【0069】

## 【表3】

（主要諸元）

$$\lambda = 193.306 \text{ nm}$$

$$\beta = -1/4$$

$$NA = 0.9$$

$$B = 12 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 9 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	$r$	$d$	$n$	
	(レチクル面)	55.8515		
1	-2113.36467	22.0016	1.5603261	(L 1 1)
2*	216.83131	37.6588		
3	-99.00000	35.9329	1.5603261	(L 1 2)
4	-530.65397	1.0000		
5	-2085.24301	49.6884	1.5014548	(L 1 3)
6	-211.94203	1.0000		



7*	-1300.49159	51.0000	1.5603261	(L 1 4)
8	-228.72340	1.0000		
9	449.54298	42.9915	1.5603261	(L 1 5)
10	-31743139.73000	4.4564		
11	286.16093	46.4240	1.5603261	(L 1 6)
12	700.00000	27.3629		
13	200.00000	44.5225	1.5014548	(L 1 7)
14	835.17809	1.0000		
15	176.47058	44.0153	1.5014548	(L 1 8)
16	4997.43477	1.0000		
17	1190.04003	14.0931	1.5603261	(L 1 9)
18	117.90394	42.8960		
19*	-174.99987	14.0000	1.5603261	(L 1 1 0)
20	122.55049	22.0064		
21	-9702.06368	10.0000	1.5603261	(L 1 1 1)
22*	501.04970	22.5348		
23	-150.00000	15.2478	1.5603261	(L 1 1 2)
24*	545.44066	5.0208		
25	670.66815	37.0463	1.5603261	(L 1 1 3)
26*	1258.71661	9.9406		
27	5070.23940	51.1959	1.5014548	(L 1 1 4)
28	-161.64547	1.0000		
29	827.78244	41.9662	1.5014548	(L 1 1 5)
30	-354.18335	2.2506		
31	4796.10166	21.3348	1.5603261	(L 1 1 6)
32	2003.44485	100.6473		
34	$\infty$	19.4869		(A S)
34	-1507.37025	26.9184	1.5603261	(L 1 1 7)
35	1249.53353	17.3121		

36	-3874.77086	48.5508	1.5603261	(L 1 1 8)
37	-333.94853	1.0000		
38	1503.93894	41.7658	1.5603261	(L 1 1 9)
39	-563.59244	1.0000		
40	186.00000	57.7875	1.5603261	(L 1 2 0)
41	997.61736	1.0000		
42	158.43716	36.3731	1.5603261	(L 1 2 1)
43*	202.36197	1.0000		
44	120.00000	48.8077	1.5014548	(L 1 2 2)
45	244.45698	7.8937		
46	500.00000	45.5175	1.5014548	(L 1 2 3 : L b)
47	100.78932	4.5000	1.47	(L m)
48	$\infty$	4.0000	1.5603261	(L p)
49	$\infty$	9.0000	1.47	(L m)

(ウェハ面)

(非球面データ)

2 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -1.49703 \times 10^{-7} \quad C_6 = 6.71854 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -3.64562 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 4.13593 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -2.03062 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 5.69043 \times 10^{-29}$$

7 面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -1.18880 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.02901 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -7.54528 \times 10^{-19} \quad C_{10} = 5.83141 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = 1.74725 \times 10^{-28} \quad C_{14} = -4.32881 \times 10^{-32}$$

19面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= -7.74045 \times 10^{-8} & C_6 &= 1.56057 \times 10^{-11} \\ C_8 &= -1.10312 \times 10^{-15} & C_{10} &= 3.62488 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= 3.26842 \times 10^{-24} & C_{14} &= -3.56309 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

22面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.04821 \times 10^{-7} & C_6 &= 8.80831 \times 10^{-12} \\ C_8 &= 3.69747 \times 10^{-17} & C_{10} &= -2.96855 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -4.51996 \times 10^{-24} & C_{14} &= 4.81943 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

24面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.27905 \times 10^{-8} & C_6 &= 7.05643 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -4.87282 \times 10^{-16} & C_{10} &= 4.68907 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -8.61747 \times 10^{-25} & C_{14} &= -7.01397 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

26面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= 7.26173 \times 10^{-8} & C_6 &= -3.04123 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -2.32724 \times 10^{-17} & C_{10} &= 8.20189 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -4.70258 \times 10^{-25} & C_{14} &= 1.17373 \times 10^{-29} \end{aligned}$$

43面

 $\kappa = 0$ 

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.90186 \times 10^{-8} & C_6 &= -8.61256 \times 10^{-14} \\ C_8 &= 1.45348 \times 10^{-17} & C_{10} &= 4.84634 \times 10^{-24} \\ C_{12} &= 3.04007 \times 10^{-27} & C_{14} &= 4.59309 \times 10^{-31} \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$Cb = 0.002 \text{ mm}^{-1}$$

$$D = B = 12 \text{ mm}$$

$$NA = 0.9$$

$$P = 0 \text{ mm}^{-1}$$

$$(1) Cb \cdot D / NA = 0.0267$$

$$(2) |P \cdot D| = 0$$

#### 【0070】

図10は、第3実施例における横収差を示す図である。図10の収差図から明らかなように、第3実施例では、屈折型の投影光学系においてArFエキシマレーザー光を用いて比較的大きな像側開口数( $NA=0.9$ )を確保しているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。

#### 【0071】

こうして、第1実施例では、波長が193.306 nmのArFエキシマレーザー光に対して、1.0の高い像側開口数を確保するとともに、ウェハW上において半径が15 mmのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、26 mm×4.4 mmの矩形の実効露光領域(静止露光領域)を確保することができ、たとえば26 mm×33 mmの矩形の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

#### 【0072】

また、第2実施例では、波長が157.631 nmのF<sub>2</sub>レーザー光に対して、1.0の高い像側開口数を確保するとともに、ウェハW上において半径が15 mmのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、26 mm×4.4 mmの矩形の実効露光領域(静止露光領域)を確保することができ、たとえば26 mm×33 mmの矩形の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

#### 【0073】

さらに、第3実施例では、波長が193.306 nmのArFエキシマレーザー光に対して、0.9の高い像側開口数を確保するとともに、ウェハW上において半径が12 mmのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、22 mm×9 mmの矩形状の実効露光領域（静止露光領域）を確保することができ、たとえば22 mm×33 mmの矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

#### 【0074】

なお、第1実施例では、すべてのレンズ成分を石英により形成しているが、露光光のエネルギーが集中する小口径レンズ（たとえばウェハWの近傍に配置された境界レンズLbやレンズL312など）を蛍石で形成することにより、石英のコmpactionに起因する結像性能劣化を回避することができる。

#### 【0075】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図11のフローチャートを参照して説明する。

#### 【0076】

先ず、図11のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

## 【0077】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

## 【0078】

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図12のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図12において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

。

## 【0079】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶

パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 403 では、例えば、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

#### 【0080】

その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

#### 【0081】

なお、上述の実施形態では、マスクおよび基板を投影光学系に対して相対移動させながら基板の各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、マスクと基板とを静止させた状態でマスクのパターンを基板へ一括的に転写し、基板を順次ステップ移動させて各露光領域にマスクパターンを逐次露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置に対して本発明を適用することもできる。

#### 【0082】

また、上述の実施形態では、ArF エキシマレーザ光源または F<sub>2</sub> レーザ光源を用いているが、これに限定されることなく、他の適当な光源を用いることもできる。さらに、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

#### 【0083】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の投影光学系では、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させるとともに、境界レンズの物体側の面に正の屈折力を付与することにより、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きな実効的な像側開口数

を確保することができる。

#### 【0084】

したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、大きな実効的な像側開口数を有し、ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。また、本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

##### 【図2】

第1実施例および第2実施例においてウェハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。

##### 【図3】

第3実施例においてウェハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。

##### 【図4】

各実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。

##### 【図5】

本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

##### 【図6】

第1実施例における横収差を示す図である。

##### 【図7】

本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

##### 【図8】

第2実施例における横収差を示す図である。

##### 【図9】

本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

##### 【図10】



第3実施例における横収差を示す図である。

【図11】

マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図12】

マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

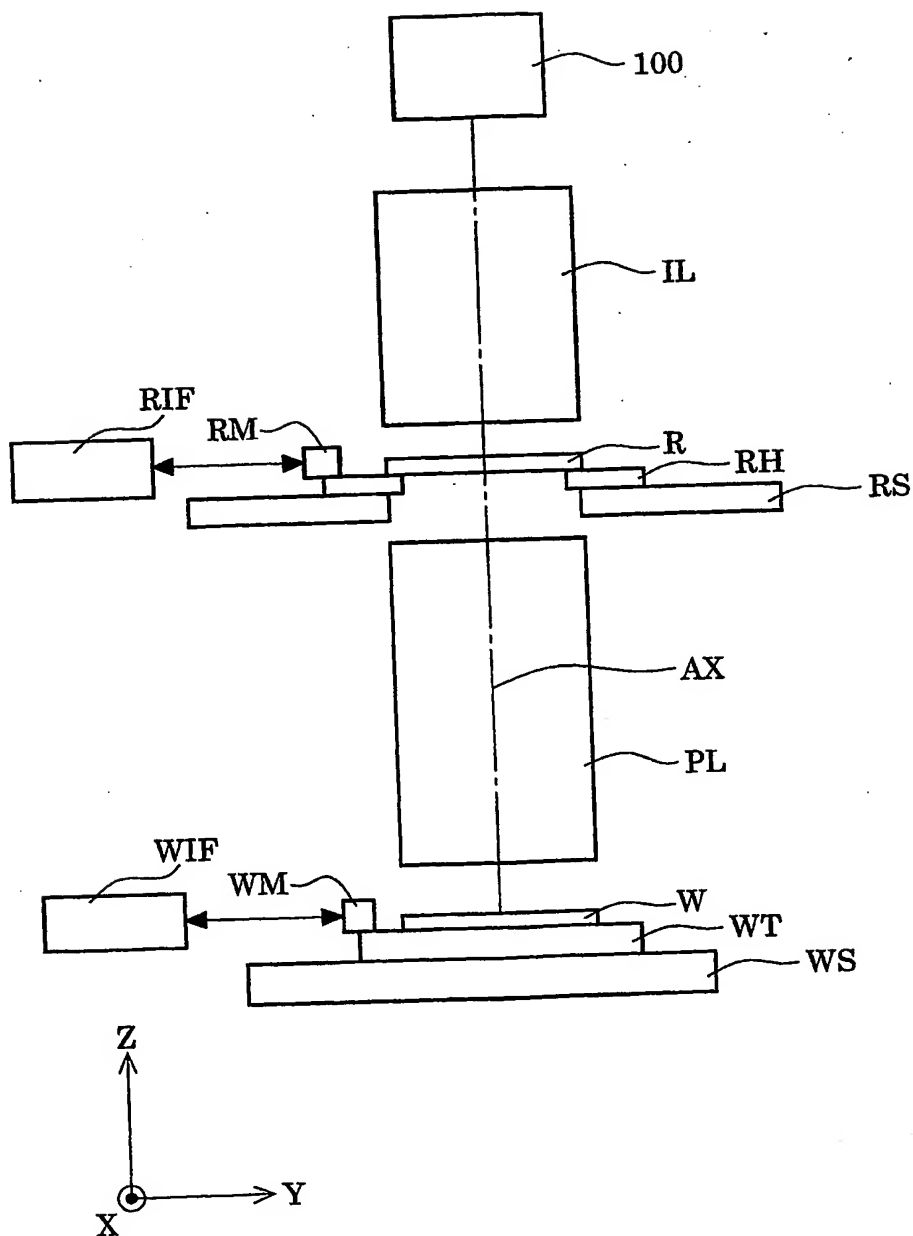
【符号の説明】

- Lb 境界レンズ
- Lp 平行平板
- Lm 媒体（脱イオン水またはフッ素系不活性液体）
- G1 第1結像光学系
- G2 第2結像光学系
- G3 第3結像光学系
- CM 凹面反射鏡
- M1 第1光路折り曲げ鏡
- M2 第2光路折り曲げ鏡
- 100 レーザー光源
- IL 照明光学系
- R レチクル
- RS レチクルステージ
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- WS ウェハステージ

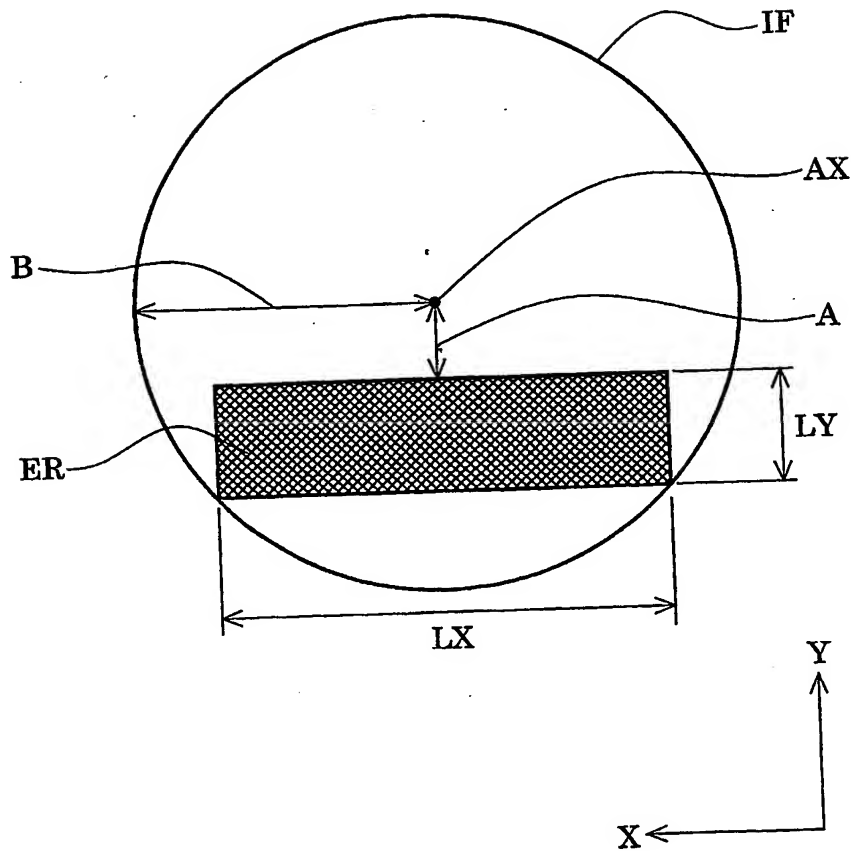
【書類名】

図面

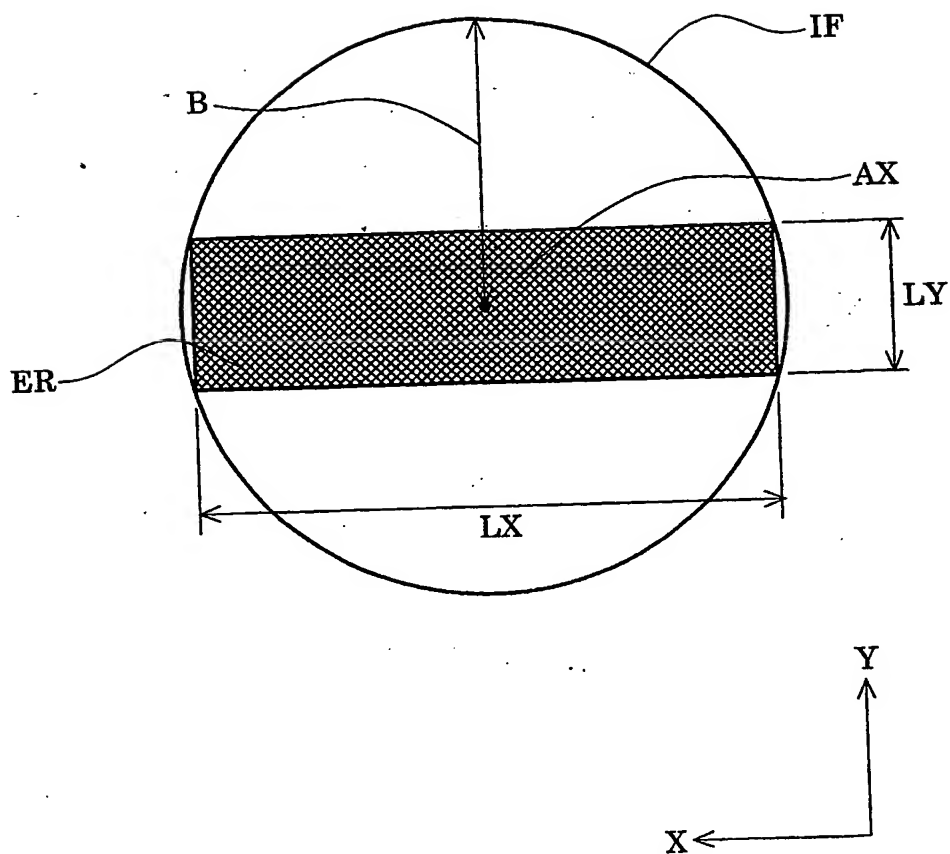
【図 1】



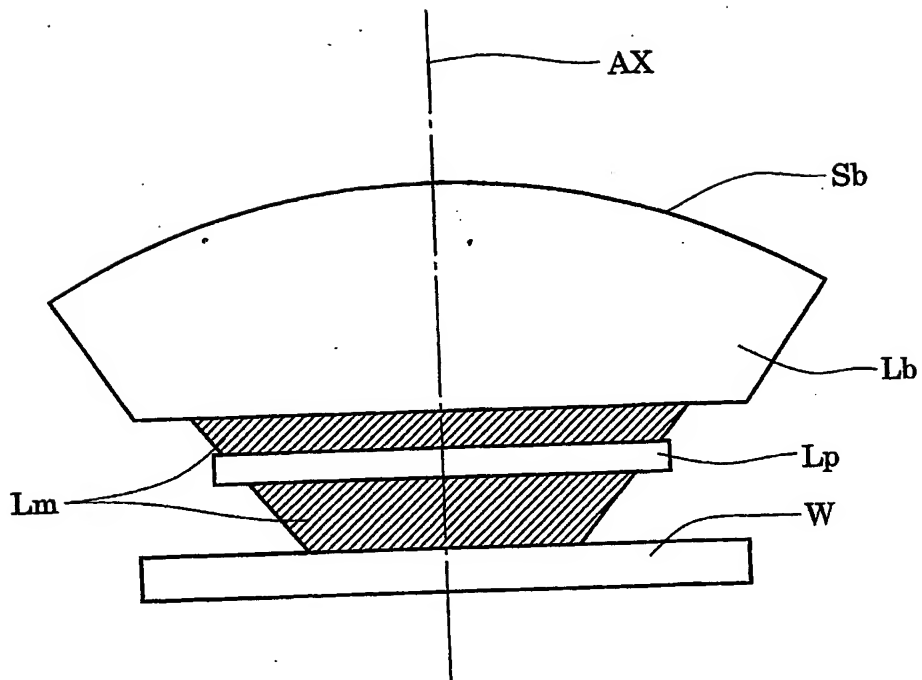
【図 2】



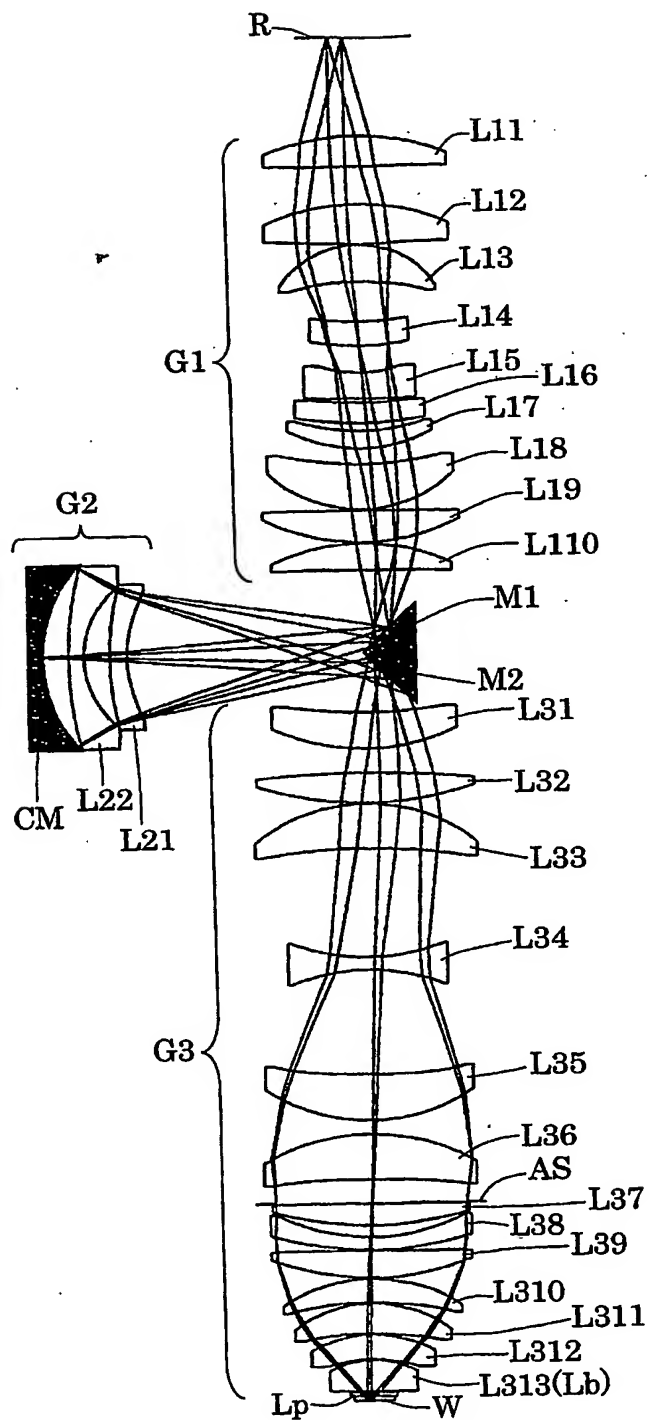
【図3】



【図4】

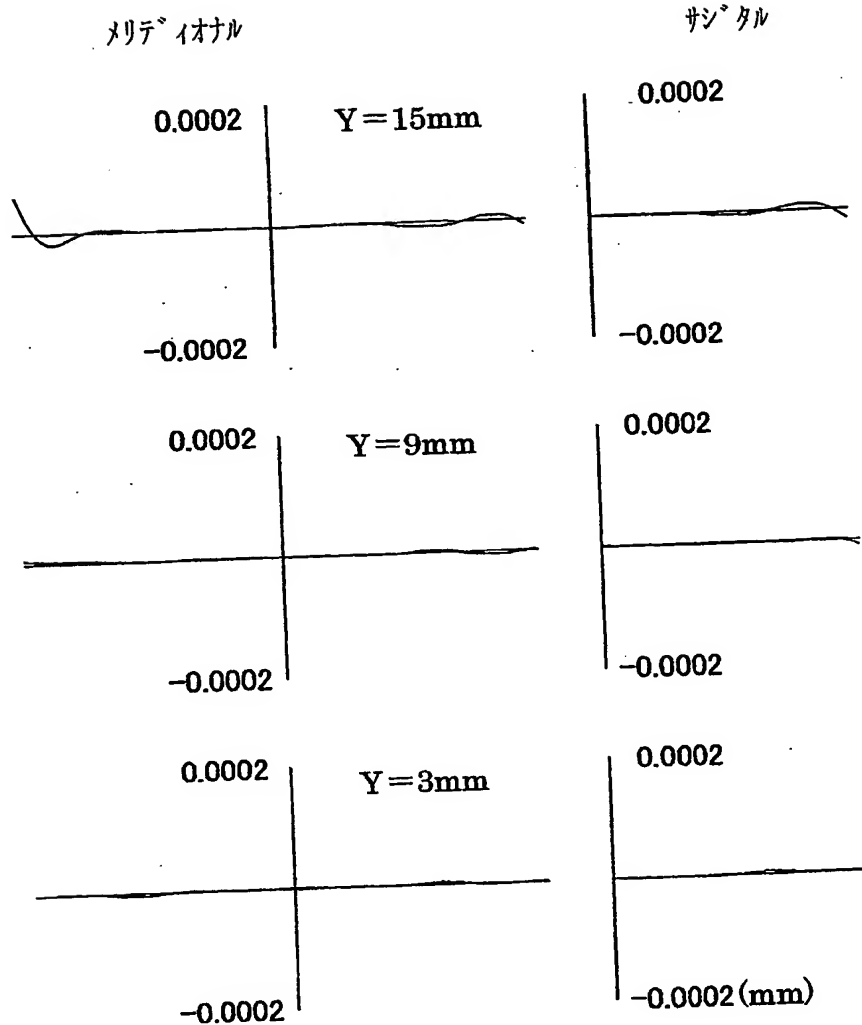


【図 5】

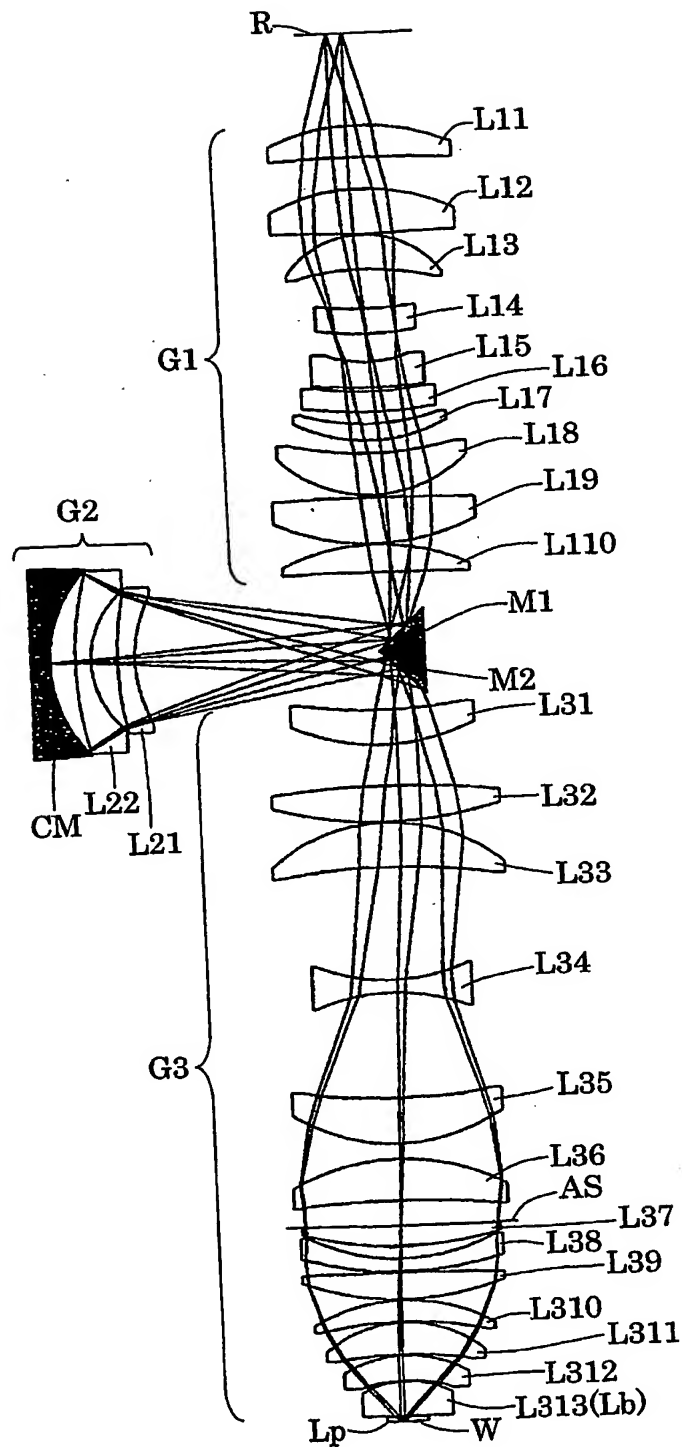


【図6】

横収差

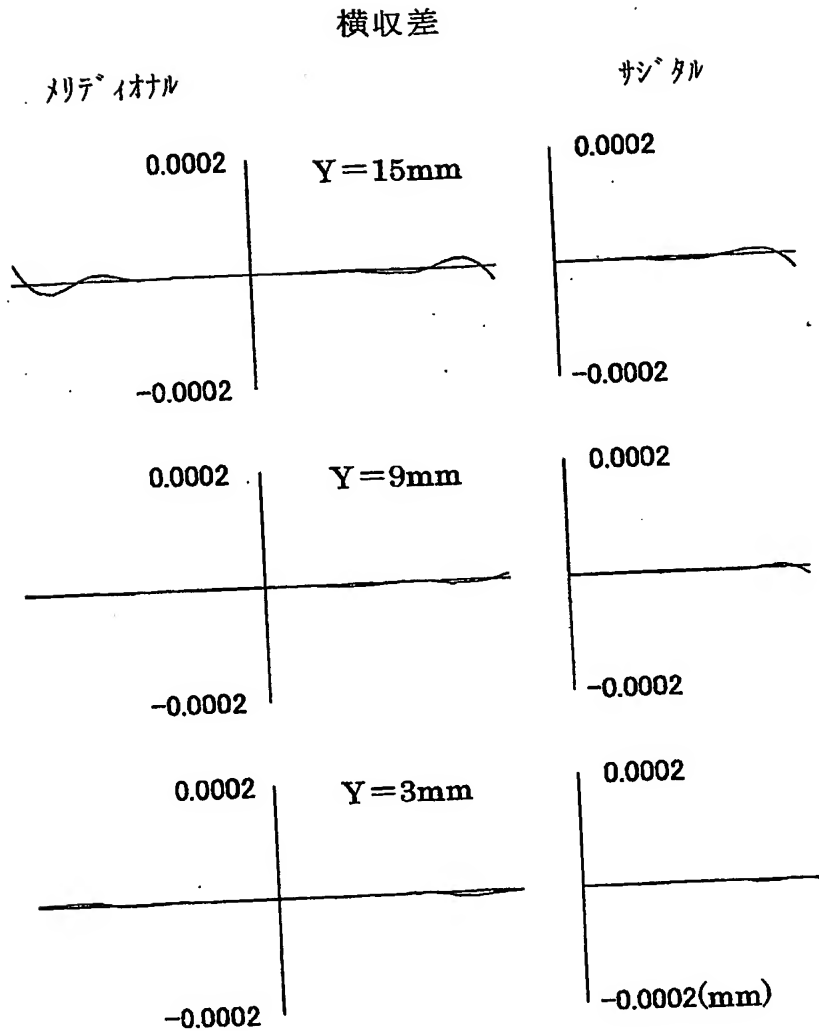


【図7】

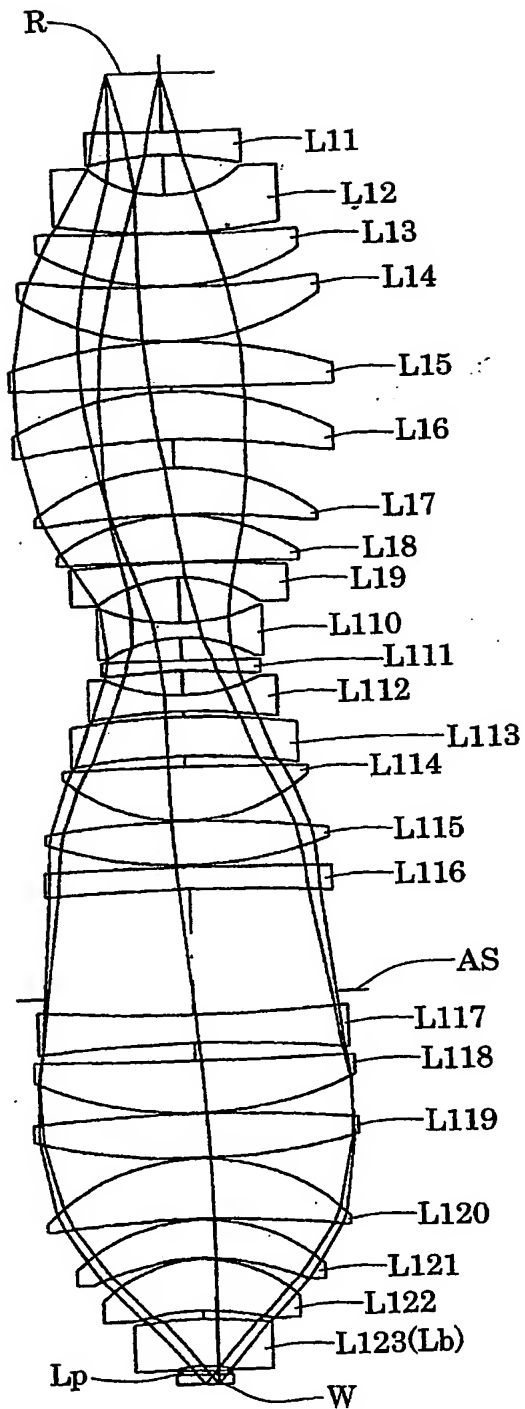




【図 8】



【図9】

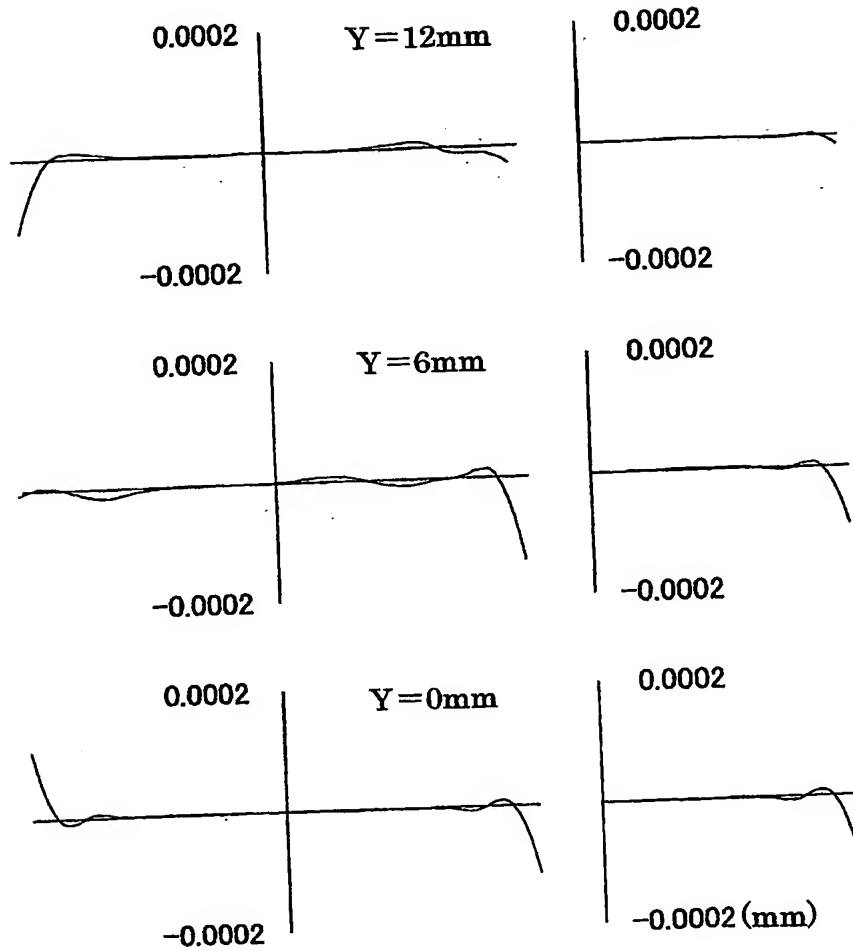


【図10】

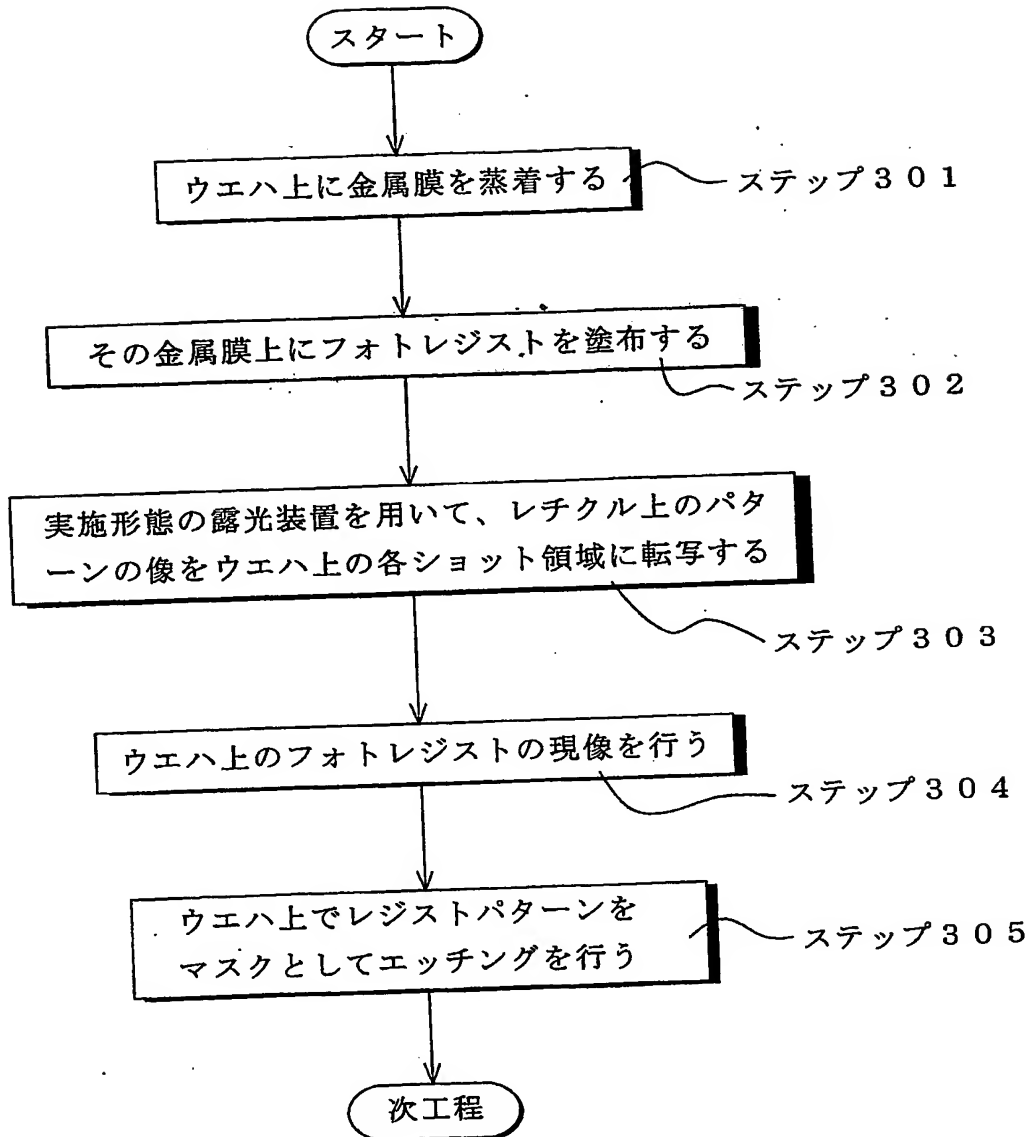
横収差

メリテ・イナル

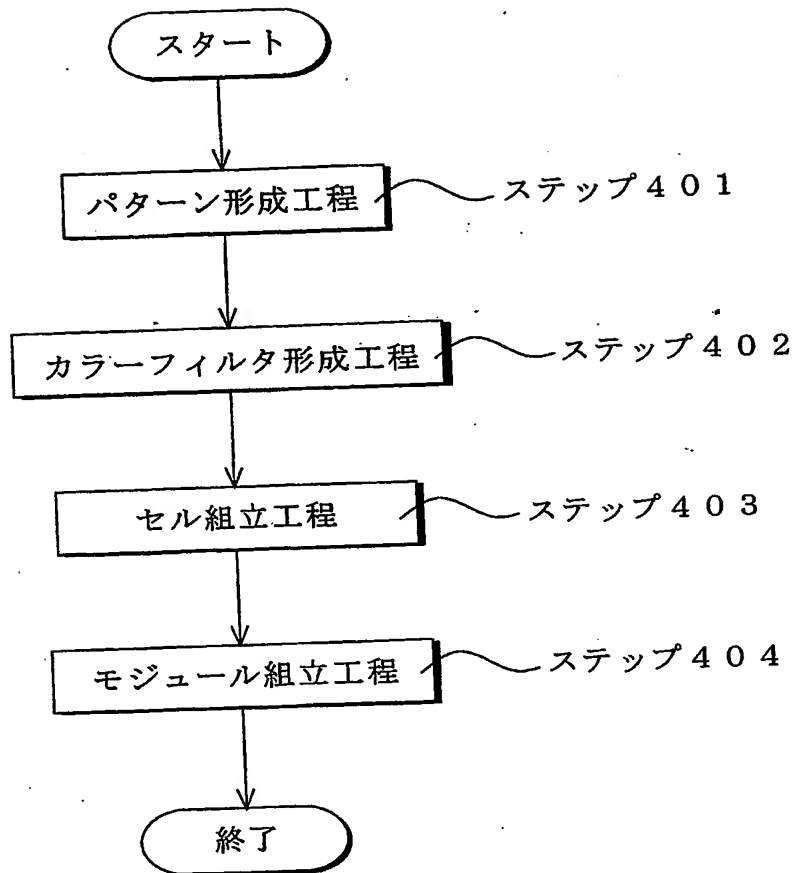
サシタル



【図11】



【図12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させ、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きな実効的な像側開口数を確保することのできる投影光学系。

【解決手段】 第1面(R)の像を第2面(W)上に形成する投影光学系。投影光学系は、最も第2面側に配置されて第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズ(L313:Lb)を有し、境界レンズと第2面との間の光路中には、少なくとも1つのほぼ無屈折力の光学部材(Lp)が挿脱自在に配置され、境界レンズと光学部材との間の光路および光学部材と第2面との間の光路は、1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされている。

【選択図】 図5

認定・付加情報

特許出願の番号

特願 2002-242925

受付番号

50201248399

書類名

特許願

担当官

第五担当上席

0094

作成日

平成14年 8月26日

<認定情報・付加情報>

【提出日】

平成14年 8月23日

次頁無

特願 2002-242925

出願人履歴情報

識別番号

[000004112]

1. 変更年月日

[変更理由]

住所  
氏名

1990年 8月29日

新規登録

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

株式会社ニコン